

# Kalium och magnesium i lantbruksgrödor - deras funktion och inverkan på torkstress

*Potassium and magnesium in agricultural crops - their function and impact on drought stress*

Maria Weigl



Kandidatuppsats i biologi  
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

# Kalium och magnesium i lantbruksgrödor - deras funktion och inverkan på torkstress

*Potassium and magnesium in agricultural crops - their function and impact on drought stress*

**Maria Weigl**

**Handledare:** Karin Hamnér, institutionen för mark och miljö, SLU

**Examinator:** Magnus Simonsson, institutionen för mark och miljö, SLU

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i Biologi

**Kurskod:** EX0894

**Program/utbildning:** Agronomprogrammet - mark/växt, 270 hp

**Kursansvarig institution:** vatten och miljö

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2019

**Omslagsbild:** Potatisfält i Skåne, 2018, foto: Maria Weigl

**Serietitel:** Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU

**Delnummer i serien:** 2019:12

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** gödsling, potatis, näringsämnen, vattenanvändningseffektivitet, vattenbrist

Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för mark och miljö

## Sammanfattning

Framtidens klimat kommer bli mer extremt. För lite nederbörd samt värmeböljor under odlingssäsongen kommer troligen ske oftare vilket påverkar avkastningen för de flesta lantbruksgrödor negativt. Samtidigt kommer världens befolkning öka och det kommer behövas produceras mer mat för den ökande befolkningen. Det blir viktigare att hitta strategier hur vi gör lantbruksgrödor mer torktåliga och att säkerställa en hög skördenivå. Denna litteraturstudie handlar om i vilken omfattning näringsämnen kalium och magnesium påverkar torktåligheten hos lantbruksgrödorna på ett positivt sätt.

Kalium behövs framförallt för att upprätthålla det osmotiska trycket inuti cellerna. Det osmotiska trycket behövs för att växterna ska kunna ta upp vatten och fortsätta med sin metabolism även om vatten börjar bli mindre tillgängligt under växtsäsongen. Växtens vattenanvändningseffektivitet ökar med ökad tillgång på kalium. Magnesium spelar en viktig roll för rottillväxten då detta näringsämne är grundläggande för transporten av kolhydrater till rötterna vilka är beroende av en bra försörjning med kolhydrater. Ett väl utvecklat rotsystem är fundamentalt för växtens överlevnad under torra förhållanden då vatten kan tas upp från djupare jordlager. Dessutom ingår magnesium i klorofyllet i bladen och behövs för att fotosyntesen ska kunna ske utan problem. Både magnesium och kalium behövs för transporten av fotosyntesprodukter inuti växten. Denna transport är viktig för utvecklingen och tillväxten av hela plantan. Båda näringsämnena har också en positiv inverkan på markstrukturen. Fältkapaciteten ökar signifikant vid ökande mängder av magnesium och kalium vilket innebär att mer vatten finns växttillgängligt.

Gödslingsbehovet är störst i jordar med låg kalium- och magnesiumstatus i marken vilket ofta hittas på lätta jordar. Kvoten mellan kalium och magnesium bör ligga mellan 1,5–2,5 för att undvika brist på magnesium då båda näringsämnena konkurrerar vid upptaget. Effekten av en adekvat kalium- och magnesiumgödsling är stor bl.a. i potatisodlingen, speciell under torra förhållanden. Skördeökningar på 30% har kunnat visas.

Att ta extra hänsyn till näringsämnena kalium och magnesium speciellt under extrema väderförhållanden kommer bli viktigare i framtiden. Näringsämnena hjälper grödor att klara stressituationer, framförallt torkstress, bättre och det finns en stor potential. Kunskapen om kaliums och magnesiums funktioner i växten framförallt under icke optimala väderförhållanden måste öka! I framtiden kommer vi behöva kombinera olika odlingsåtgärder med en adekvat gödsling för att säkerställa en stabilare skörd trots vattenbrist och höga temperaturer.

*Nyckelord:* gödsling, potatis, näringsämnen, vattenanvändningseffektivitet, vattenbrist



## Abstract

The climate will be more extreme in the future. Too little rainfall and heat waves during the growing season are likely to occur more often, which negatively affect the yield for most agricultural crops. At the same time, the world's population will increase, and it will be necessary to produce more food for the increasing population. It becomes more important to find strategies how to make agricultural crops more drought resistant. This literature study investigates how the fertilization with potassium and magnesium affects the drought stress tolerance of agricultural crops. Both nutrients have a positive impact on the crop's ability to withstand drought stress.

Potassium is needed primarily to maintain the osmotic pressure inside the cells. The osmotic pressure is needed for the plants to be able to take up water and continue their metabolism even if water would start to decrease during the plant season. Several plant parts, which are central to the plant's metabolism are affected by potassium and its influence on the osmotic pressure. Magnesium plays an important role in root growth, as this nutrient is fundamental in the transport of carbohydrates to the roots, which are dependent on an adequate supply of carbohydrates. In addition, magnesium is included in the chlorophyll in the leaves and is needed for photosynthesis. Furthermore, both potassium and magnesium are needed for the transport of photosynthesis products within the plant. The transport is important for the development and growth of the entire plant. Besides that, both nutrients have a positive impact on the soil structure and an increased fertilization significantly increases field capacity. An increased field capacity implies more available water. All these parameters are crucial for the plant's ability to become more tolerant of drying stress.

The requirement of potassium and magnesium fertilizer is greatest on soils with low potassium and magnesium status in the soil, often soils with low clay content. The ratio between the two nutrients should be between 1.5-2.5 to avoid magnesium deficiency as the nutrients compete at uptake. The effect of an adequate potassium and magnesium fertilization is great in e.g. potato cultivation especially under dry conditions. Studies have shown harvest increases of up to 30% compared to the control.

Taking extra consideration of these nutrients, especially during extreme weather conditions, will become more important in the future. The nutrients help crops to cope with stress situations, especially drought stress. I see a great potential. The knowledge of the functions of potassium and magnesium in the crop, especially under non-optimal weather conditions, must increase! In the future, we will need to combine different cultivation measures with an adequate fertilization to ensure a more stable harvest despite water shortages and high temperatures.

*Keywords:* fertilization, potatoes, plant nutrients, water use efficiency, water scarcity



# Innehållsförteckning

<b>Figurförteckning</b>	<b>4</b>
<b>Förkortningar</b>	<b>5</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2 Mål och syfte</b>	<b>8</b>
<b>3 Metod</b>	<b>9</b>
<b>4 Kalium</b>	<b>10</b>
4.1 Kalium i marken	10
4.2 Kalium i växten	11
4.2.1 Upptag av kalium	11
4.2.2 Funktioner av kalium i växten	11
<b>5 Magnesium</b>	<b>13</b>
5.1 Magnesium och marken	13
5.2 Magnesium i växten	14
<b>6 Vatten - en resurs att tillvarata</b>	<b>15</b>
6.1 Vattenanvändningseffektivitet	15
6.2 Torkstress	16
6.3 Näringsämnen kopplade till torkstress	16
6.3.1 Kaliums roll i växtens vattenhushållning	17
6.3.2 Kalium och magnesium är delaktiga vid translokationen inuti växten	20
6.3.3 Kalium och magnesium påverkar markstrukturen	22
<b>7 Gödsling</b>	<b>24</b>
7.1 Allmänt om gödsling med kalium och magnesium	24
7.2 Gödslingsförsök med kalium och magnesium	26
7.3 Gödslingseffekter i potatis	27
<b>8 Diskussion</b>	<b>29</b>
<b>9 Slutsatser</b>	<b>35</b>
<b>Referenslista</b>	<b>36</b>

## Figurförteckning

- Figur 1. K och Mg förbättrar torktoleransen av grödorna genom växten och marken.  
Källa, bild: Gartentipps.de 17
- Figur 2. Stresstest med korn: Ingen torkstress (översta två bilderna) med och utan en extra kaliumgödsling. Växterna har utsatts för torkstress (nedersta två bilderna) med och utan en extra kaliumgödsling. TM står för ts och anger minskningen av torrsubstansen utan respektive med gödsling.  
Källa: K+S Kali GmbH 19
- Figur 3. Relativa fördelningen av kolhydraterna i % mellan skott och rot.  
Källa: K+S Kali GmbH 20
- Figur 4. Magnesiums funktion i växten och hur brist (low Mg) yttrar sig jämfört med en tillräcklig Mg-försörjning (adequate Mg).  
Källa: Cakmak and Yazici 2010 22
- Figur 5. Sockerbetor med stor magnesiumbrist (--Mg), magnesiumbrist (-Mg) och en bra Magnesiumförsörjning (+Mg). Källa: K+S Kali GmbH 22
- Figur 6. Kalium ökar fältkapaciteten i marken. Fältkapaciteten ökar i lätta jordar (övre del) men också styva jordar (nedre bild). Olika bokstäver står för statistisk signifikanta skillnader mellan kaliumklasserna.  
Källa: RBZ 2019 23
- Figur 8. Ungefärligt upptag och bortförsel av K i olika grödor. Källa: Yara 2018 24
- Figur 7. Hur gödslingen med adekvata mängder K och Mg påverkar avkastningen. Växtföljden syns på X-axeln där ZR står för sockerbetor, SG för höstkorn, KA för potatis och WW för höstvet. Skördenivån av kontrollen sattes lika med 100%. Kontrollen (grå linje) och gödslat fält (blå linje). En sol står för en varm sommar med mindre nederbörd än vad som skulle behövas för tillväxten och moln står för en normal sommar med tillräckliga mängder vatten under växtsäsongen. Källa: K+S Kali GmbH 26
- Figur 9. Relativ skördeökning av potatis beroende på K-AL-klassen. Från vänster till höger: låg, mellan, optimal, hög. Skördeökningen är störst på jordar där växttillgängligt K är som lägst. Källa: K+S Kali GmbH 28



## Förkortningar

AL-klass	Andel av ett näringsämne i marken, lättillgänglig
ha	Hektar
HCl-klass	Andel av ett näringsämne i marken, svårtillgänglig
K	Kalium
Mg	Magnesium
ts	Torrsubstans
WUE	Water use efficiency, vattenanvändningseffektivitet



# 1 Inledning

Den största globala samhällsutmaningen i dagens läge är den snabbt växande befolkningen. Sedan 1960-talet har befolkningen fördubblats och trenden med en snabbt växande befolkning kommer att fortsätta. Den snabba expansionen innebär att växtproduktionen måste öka markant för att möta framtida generationers mat- och energibehov, samtidigt som människan måste bevara de ekologiska och energirelaterade resurserna på planeten. Fram till 2050 kommer jordbruket behöva producera 50% mer mat än idag (Jorbruksverket, 2018).

En faktor som i hög grad påverkar denna utmaning är klimatets förändringar. Genomsnittstemperaturen kan komma att öka med 2–5 grader, men ökningen kommer troligen inte vara jämt fördelad utan vissa områden kan bli kallare och andra områden varmare. Detsamma gäller för nederbörden, även den troligen kommer förskjutas. I mellersta och norra Europa kommer nederbörden fördelas inom året på så sätt att nederbörden kommer att öka under vintern följt av torkperioder under våren och sommaren. Det behövs därför mer kunskap om hur lantbruksgrödor kan bli tåligare mot extrema väderförhållanden och vilka egenskaper som krävs för att upprätthålla en bra avkastning även under biotisk och abiotisk stress.

För att få en gröda som är tolerant mot olika stressituationer är det viktigt att grödan har tillgång till alla essentiella näringsämnen samt spårämnen som upprätthåller en bra näringsstatus. För att kunna öka grödans tolerans mot torkstress behövs det att man, förutom att ta hänsyn till alla näringsämnen och viktiga spårämnen, också lägger fokus på kalium och magnesium, då dessa är betydelsefulla för grödans ökade tolerans mot torkstress.

## 2 Mål och syfte

Syftet med arbetet är att ge en översiktlig bild över vilka funktioner kalium och magnesium har i växten och hur ämnena påverkar växterna vid torkstress.

Följande frågeställningar behandlas i arbetet:

- 1) Vilka funktioner har kalium och magnesium i grödan?
- 2) Hur är halterna av kalium och magnesium kopplade till torkstress hos grödor?
- 3) Kan en ökad gödsling av kalium och magnesium öka torktåligheten?

Arbetet koncentrerar sig på de viktigaste funktionerna hos kalium och magnesium i lantbruksgrödor. Kalium och magnesium valdes, då dessa anses ha störst inverkan på grödans förmåga att hantera torkstress. Det finns andra viktiga näringsämnen som påverkar en gröda vid torkstress men dessa nämns inte i det här arbetet. I senare delen av arbetet kommer fokuset ligga på potatis och på hur kalium och magnesium påverkar avkastningen av potatis. Potatis valdes på grund av att den har ett svagt rotsystem, odlas främst på lätta jordar, är i stort behov av framförallt kalium och vatten samt att den har en central roll i det svenska samhället.

### 3 Metod

Arbetet har genomförts som en litteraturstudie. All information i arbetet kommer från böcker, vetenskapliga artiklar, hemsidor från olika företag och från tidningsartiklar. Idéen till arbetet kommer från företaget K+S Kali GmbH. Detta företag äger en kooperation, forskningsinstitutet IAPN (Institute of applied plant nutrition) tillsammans med universitetet Georg-August-Universität Göttingen. Informationen på hemsidan K+S Kali GmbH kommer till största delen från IAPN.

De första tre veckorna av arbetet låg fokus på att hitta källor, läsa dessa, vid behov översätta dem och sammanställa informationen. Därefter strukturerades arbetet. Kontakten med K+S Kali GmbH under arbetets gång har bidragit till uppsatsens innehåll. Dessutom gav seminariet lantbruket och klimatet, 7. maj 2019, viktiga synpunkter och idéer för arbetet.

## 4 Kalium

En växt behöver förutom ljus och vatten också 14 olika näringsämnen. Kalium (K) är ett grundämne och tillhör det periodiska systemets första grupp, alkalimetallerna. Grundämnet är vanligt förekommande i naturen och spelar en stor roll i växter. Kalium tillhör gruppen makronäringsämnen vilket innebär att de behövs i stora mängder av växten, till skillnad från de så kallade mikronäringsämnen som behövs i mindre mängder (Fågelfors, 2016).

### 4.1 Kalium i marken

Kaliumhalten i marken uppgår till 1,5–2,5% vilket medför att det finns cirka 100 ton kalium per hektar i rotzonen. Den största delen av K som finns i marken är dock svår eller otillgänglig för växterna. Allmänt föreligger K på fyra olika sätt i marken: löst i markvätskan, utbytbar, fixerat och mineralbundet (Olsson, 2008). Växter kan bara ta upp K i form av joner, dvs  $K^+$  som är lösta i markvätskan. Andelen av dessa joner motsvarar 1% av utbytbar K. Kalium som är utbytbar är kopplat till markpartiklarnas negativa laddningar och motsvarar ca 1% av totalmängden K. Utbytbar K är inte direkt växttillgänglig utan behöver bytas ut mot en  $H^+$  jon från rötterna innan det blir löst. Kalium kan också vara fixerat i lermineral. Detta K måste frigöras för att kunna bli växttillgängligt. Näringsämnet kan också vara bundet i kaliummineral. Mineralkalium är icke utbytbar K och står för ca 99% av det totala kaliumförrådet i mineraljordar. Kalium finns här mellan 2:1-skikten i bland annat illit. Det kan bara bli tillgängligt för växterna om det frigörs genom vittring. (Eriksson *et al.*, 2017).

Det kan vittras mellan 3 och 80 kg K /ha och år från markens mineral (Yara, 2018). Vittringskapaciteten är starkt kopplad till lerhalten där styva lerjordar bidrar med stora mängder K medan lättare jordar och mulljordar har låg vittringskapacitet.

Vitringshastigheten beror bland annat på omgivningstemperaturen, nederbörd och organiskt material i marken. Allmänt hittas det högre halter utbytbar K i marken på våren än på hösten eftersom vittringen är större under vinterhalvåret samtidigt som upptaget från växterna är låg.

Utlakningen av K är ett mindre problem då K fixeras lätt på lerpartiklar. Ju högre andel ler jorden uppvisar desto mindre problem är utlakningen av näringsämnet. (Eriksson *et al.*, 2017). Mellan 1–30 kg per hektar per år kan utlakas (Olsson, 2008). Behovet av K på lätta jordar är av samma anledning större än på lerjordar (Yara, 2018).

## 4.2 Kalium i växten

Kalium behövs i stora mängder i växten, där mellan 0,5 – 3,0% av ts (torrsubstans) i en växt är K (Fågelfors, 2016). Kaliumkoncentrationen i växten varierar beroende på utvecklingsstadium och växtslag (Olsson, 2008).

### 4.2.1 Upptag av kalium

Kalium kan bara tas upp av växter i form av joner  $K^+$ . Koncentrationsskillnaden mellan mark och växt är drivkraften som gör att joner från marklösningen kan tas upp av rötter. Kalium har en relativ snabb diffusionshastighet då det finns kanalproteiner som är viktiga för en snabb transport av stora volymer K. Transporten med kanalproteiner kallas också för passiv transport då transporten drivs av koncentrationsskillnaden mellan marken och rötterna. Aktiv transport behöver ske om transporten av joner ska ske mot koncentrationsgradienten. Den aktiva transporten är energikrävande (Fågelfors, 2016).

### 4.2.2 Funktioner av kalium i växten

Kalium är ett näringsämne som inte ingår som byggnadsmaterial i växtens organiska material utan dess enda uppgift är av funktionell typ (Baab, 2014). På grund av detta är K det mest lättlösliga ämnet i växten (Båth, 2015). Näringsämnet förekommer som  $K^+$ -jon i cellsaften och styr växtens salthalt (Olsson, 2008). Salthalten i en växt bidrar till den osmotiska potentialen inuti cellerna som upprätthåller det osmotiska trycket.

Växtens vattenhushållning styrs hela vägen från upptaget av vatten genom rötterna till klyvöppningarna på bladytan. För att de processerna ska kunna utföras på ett korrekt sätt krävs det en bra försörjning med K (Niederländer, 2019). Detta i

sin tur påverkar fotosyntesen genom klyvöppningarnas öppningsmekanism som styrs av K i klyvöppningarna. Kalium styr både klyvöppningarnas öppnings- och stängmekanism (Zörb *et al.*, 2014). En växt reagerar på förändringar av markens vatteninnehåll och svarar på förändrade förutsättningar genom att optimera klyvöppningarnas öppningsgrad (Thiel & Jakli, 2016). Inte bara fotosyntesen styrs därmed av K utan också vävnadshydrering, cellernas tillväxt och bladexpansion, floemtransport och omfördelning av fotosyntesprodukter (Jákli *et al.*, 2017).

Kalium spelar därmed en central roll i växtens tillväxt och utveckling. Under tillväxten är upptaget av K avgörande för en ökad cellvolym (Broadley & White, 2005). Detta påverkar i högsta grad tillväxten av bladytan. En bra försörjning med K leder till en större bladyta och en större yta att använda till transpirationen (Thiel & Jakli, 2016).

Förutom att K styr cellernas osmotiska potential, reglerar K även växtens balans mellan positivt och negativt laddade joner samtidigt som växtens pH styrs (Båth, 2015).

Ämnet aktiverar vidare 60 enzymer och är delaktig i bland annat proteinsyntes och energimetabolism. Kalium behövs för bildningen av kolhydrater som socker och stärkelse under fotosyntesen (Fågelfors, 2016). Kalium spelar också en roll för transporten av kolhydrater och proteiner inuti växten som har bildats under fotosyntesen. Utan K skulle det inte ske en translokation av kolhydraterna från bladen till växtens lagringsorgan (Jákli *et al.*, 2017).

Kalium höjer även kvaliteten på slutprodukten av grödan genom högre protein- och vitaminkoncentrationer i bland annat spannmål. Näringsämnet höjer också det naturliga försvaret mot patogener och frost (K+S KALI GmbH, 2017c).

Kaliumbrist däremot kan leda till en ökad risk för liggsäd (Eriksson *et al.*, 2017). Detta på grund av att K har en positiv inverkan på växternas stödjevävnad. I potatis ger en förbättrad stödjevävnad ett bättre skydd mot stötskador (Olsson, 2008).



## 5 Magnesium

Magnesium (Mg) är ett grundämne och tillhör det periodiska systemets andra grupp, alkaliska jordartsmetallerna. Detta element är det åttonde vanligaste förekommande grundämnet i jordskorpan och är livsnödvändigt för fotosyntetiserande organismer. Magnesium räknas, liksom K, som ett makronäringsämne och behövs i stora mängder av växterna (Båth, 2015).

### 5.1 Magnesium och marken

Magnesium förekommer i olika former i marken. Löst i marklösningen finns Mg i form av  $Mg^{2+}$  joner och utgör ca 5% av markens totala förråd av Mg (Båth, 2015). 10–30% av de utbytbara baskatjonerna är magnesiumjoner. Näringsämnet kan också vara utbytbart bundet till organiskt material respektive lermineral, alternativt kan Mg även vara förankrat i silikaternas kristallstruktur. Det lösta och utbytbart bundna magnesiumet är mer eller mindre växttillgänglig. Huvuddelen av markens Mg föreligger dock, liksom K, i icke utbytbar form i olika mineraler (Eriksson *et al.*, 2017). Magnesium har en relativ stor jonradie och binds därmed inte lika hårt till negativa ytor som till exempel kalcium. Beroende på jordart varierar markens förmåga att leverera Mg, där lerjordar har en generell större förmåga att bidra med näringsämnet. På lätta jordar och mulljordar är den naturliga förmågan att leverera Mg låg och mängden näringsämnet i dessa jordar räcker inte för att förse grödorna med tillräckliga mängder Mg (K+S KALI GmbH, 2017b).

## 5.2 Magnesium i växten

Likt alla andra näringsämnen tas Mg upp av växten i form av joner. Magnesiumupptaget sker med hjälp av passiv transport. Mellan 0,1 och 0,5 % Mg finns i en växt. Magnesium är ett näringsämne som är lätttrörligt i växten (Båth, 2015).

Magnesium är nödvändigt för att upprätthålla växtens funktioner och brist leder till försämrad tillväxt (Eriksson *et al.*, 2017). Bland annat ingår  $Mg^{2+}$ -jonen i klorofyllmolekylen som en vital del och är essentiell för fotosyntesens ljusreaktion. Magnesium hjälper till att omvandla all ljusenergi så att mindre skadliga syreradikaler bildas. Syreradikaler kan leda till solbränna där cellerna kan dö i senare stadier (Thiel, 2019a).

Vid proteinuppbyggnaden och andra enzymreaktioner som rör energiomvandling måste också Mg finnas på plats, löst i cellvätskan (Gruvaeus, 1994).

Magnesium är viktigt för överföring och transport av energi i växten. Ämnet är alltså essentiellt för syntesen av nästan alla växtens byggstenar. Även för vidaretransporten av dessa byggstenar, kolhydrater, via floemet till de delar av växten där de behövs måste Mg finnas närvarande (Båth, 2015). Magnesium aktiverar i själva verket enzymet ATPase som hjälper till vid lastningen till och från floemet. Denna mekanism är central för magnesiums roll vid utvecklingen av rotsystemet. Ett bra rotsystem är beroende av en bra försörjning med kolhydrater (Thiel, 2019a).

I ribosomerna och i cellkärnmatrixen ingår Mg som en viktig byggsten och hjälper till att stabilisera biologiska membran (K+S KALI GmbH, 2017b). Växternas vattenbudget påverkas av magnesiums hydratiserande egenskaper (Båth, 2015).

## 6 Vatten - en resurs att tillvarata

Utan vatten skulle det inte finnas liv på jorden. Trots extrema väderlekar måste en hög skördenivå upprätthållas. Det vatten som finns, även om det är lite, måste effektivt kunna användas av lantbruksgrödorna. En tillräcklig försörjning med alla näringsämnen förstärker växtens förmåga att ta vara på vattnet de behöver på många nivåer och i detta sammanhang spelar K och Mg viktiga roller.

### 6.1 Vattenanvändningseffektivitet

Vattenanvändningseffektivitet, på engelska water use efficiency, WUE, beskriver hur biomassaproduktion och vattenanvändning hos grödor hänger ihop (Thiel & Jakli, 2016). WUE beskriver också hur mycket vatten som går åt för att producera en viss mängd skörd eller växternas möjlighet att omvandla vatten till biomassa (Niederländer, 2019). Det finns olika nivåer av WUE där de tre viktigaste är: biomassa-, avkastnings- och blad/plant-WUE.

Biomassa-WUE beskriver förhållandet mellan den sammanlagda mängden producerad biomassa och mängd vatten som gick åt. Avkastnings-WUE beskriver, som namnet redan antyder, förhållandet mellan avkastning eller skördemängd och vattenåtgång. Blad/plant-WUE beskriver vattenåtgång för ett blad eller en planta. Målet är att grödor ska ha en så hög WUE som möjligt. Grödorna ska alltså kunna producera mycket biomassa i förhållande till vattenåtgången (K+S KALI GmbH, 2017a). Med andra ord så blir grödorna tåligare mot torkstress ju högre WUE är. Kalium och magnesium är två viktiga näringsämnen som spelar en central roll i växtens förmåga att klara torkstress och att öka WUE.

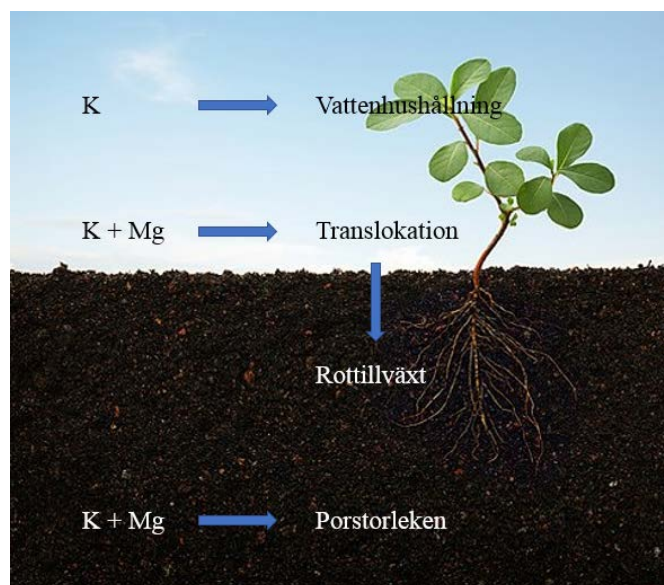
## 6.2 Torkstress

Torkstress räknas till skillnad från skadegörare, insekter, sjukdomar eller ogräs inte som en biotisk stressfaktor utan som en abiotisk stressfaktor. Biotiska stressfaktorer kan åtgärdas och förebyggas genom mekaniska eller kemiska bekämpningsåtgärder men också genom till exempel en anpassad växtföljd. Nederbörd och temperatur kan däremot varken påverkas, ändras eller förutses. Torkstress är en stressfaktor där växten inte har tillgång till tillräckliga mängder vatten. Torka uppstår genom för lite nederbörd men också genom en hög evaporation och transpiration som följd av höga temperaturer. Evaporation beskriver avdunstningen från ytor som till exempel mark eller vattendrag. Inom lantbruket beskriver evaporationen främst avdunstning av markvatten. Den stiger med ökad temperatur och minskad luftfuktighet. Slutna bestånd skuggar marken och minskar evaporationen. Med transpiration avses avdunstningen från växter, alltså främst den vattenånga som lämnar växterna via stomata. Stomata reglerar hur mycket CO<sub>2</sub> som tas upp och hur mycket vatten som avges. Transpirationen har stor påverkan på växtens vattenhushållning och därmed också hur mycket vattensom tas upp av rötterna. Transpirationen påverkas i sin tur av temperaturen, luftfuktigheten och växternas näringsbalans. Evapotranspiration är summan av transpiration och evaporation och beskriver avdunstningen från ytor, växter och djur (K+S KALI GmbH, 2017a).

Det finns några sätt att skydda sina grödor mot eventuell torkstress. Bland annat är minskad jordbearbetning, marktäckning, sortval, planttäthet och bevattning viktiga odlingsåtgärder som kan minimera risken för skördebortfall på grund av torka. Dessa åtgärder ger bra möjligheter att förebygga eller motverka torka och därmed även motverka torkstress. Dock får det inte glömmas hur viktig grödornas försörjning med näringsämnen är och vilken central roll de spelar i skyddet av lantbruksgrödor mot torkstress (K+S KALI GmbH, 2017a).

## 6.3 Näringsämnena kopplade till torkstress

En sammanfattning av kaliums och magnesiums funktioner i växten kopplat till växtens förmåga att klara torkstress ses i figur 1. Kalium är framförallt viktigt för växtens vattenhushållning: en bra kaliumförsörjning säkerställer en effektiv användning av vatten. Både K och Mg behövs för translokationen av fotosyntesprodukter. Denna omfördelning behövs för att växten ska kunna tillväxa och utvecklas. Framförallt Mg behövs vidare för ett väl utvecklat rotsystem. Båda



Figur 1. K och Mg förbättrar torktoleransen av grödorna genom växten och marken. Källa, bild: Gartentipps.de

näringsämnen behövs för markens strukturbildning där en bättre struktur leder till en högre fältkapacitet.

### 6.3.1 Kaliums roll i växtens vattenhushållning

Tillräcklig K-försörjning främjar generellt grödornas tolerans mot olika stressituationer (Jákli *et al.*, 2017) detta på grund av kaliums fundamentala roller i växten (Zörb *et al.*, 2014). Kalium har positiva effekter på grödornas osmotiska justering och på grödans WUE (Jákli *et al.*, 2017).

Kalium påverkar de olika nivåer av WUE på olika sätt. Det har påvisats att en ökad gödsling med K inte påverkar blad-WUE. Blad-WUE bestäms av förhållandet mellan å ena sidan växtens bildning av fotosyntesprodukter och å andra sidan transpiration. Den påverkas inte av tillgång på K. Avkastnings-WUE ökar då vatten som är växttillgänglig kan användas på ett effektivt sätt för att producera biomassa och därmed avkastning (Thiel & Jakli, 2016).

Vid definitionen för avkastnings -WUE räkna man inte bara med fotosyntesprodukterna och transpiration som det görs för blad-WUE utan också CO<sub>2</sub>- balansen och hur effektivt CO<sub>2</sub> används i grödans metabolism. Då tillräckliga mängder K finns i växten ökar denna effektivitet. Dessutom påverkar andra komplexa interaktioner mellan den levande och icke levande miljön runt grödorna hur effektivt vatten används. Även dessa interaktioner påverkas av kalium. Mycket

av kaliums effekt på grödan är dock okänt och det saknas kunskap om hur effekterna syns i fält (Thiel & Jakli, 2016).

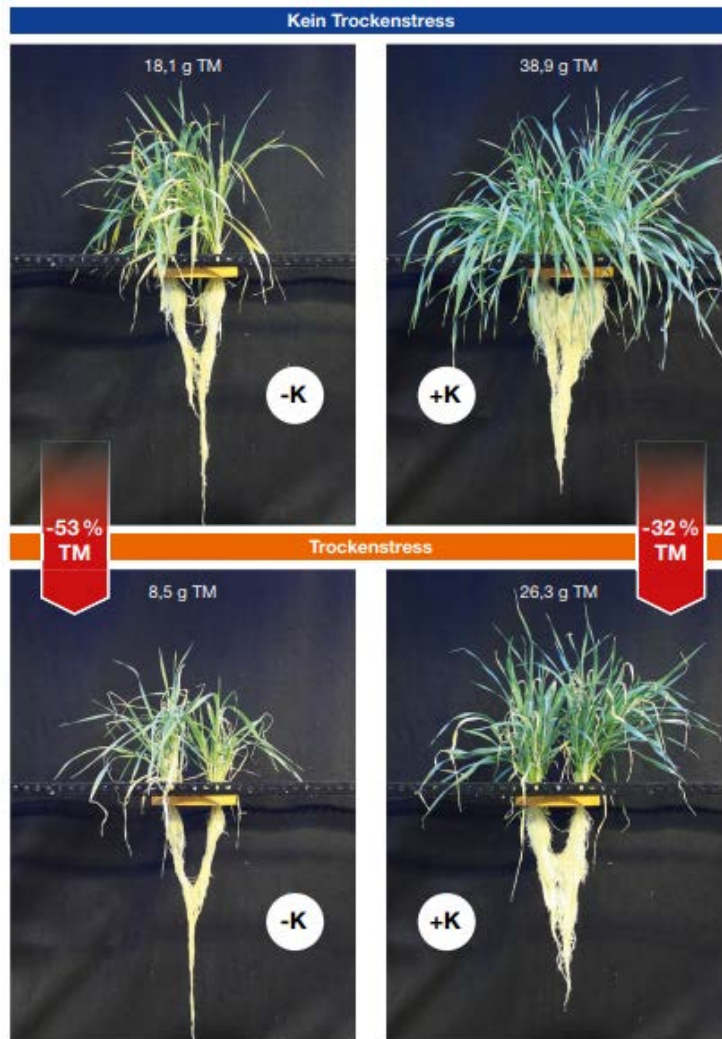
Mekanismen bakom en ökad avkastnings- WUE är att K hjälper till att upprätthålla det osmotiska trycket i växtens celler. Då stomata öppnas transpirerar vattenånga i samma takt som CO<sub>2</sub> tas upp. CO<sub>2</sub> omvandlas till kolhydrater med hjälp av solenergin och grödans metabolism styrs (Niederländer, 2019).

En växt reagerar på ändringar i markens vatteninnehåll och svarar på förändrade förutsättningar genom att optimera klyvöppningarnas öppningsgrad. Kalium hjälper till att optimera öppningsgraden. När det börjar bli mindre vatten under vegetationsperioden är det viktigt att stomatas öppningsgrad optimeras och upprätthålls. Turgorn upprätthålls med hjälp av K och det vatten som finns kan absorberas under en längre period (Mohd Zain & Ismail, 2016). Detta gör att stomataöppningar hålls öppna och inte stängs lika fort som om det råder brist på K. Grödan kan fortsätta med sin utveckling och tillväxt och trots mindre tillgång på vatten kan det uppnås en bra avkastning och kvalitet av skörden (Mohd Zain & Ismail, 2016).

Kalium påverkar det osmotiska trycket vilket styr cellernas tillväxt och påverkar därmed också bladens tillväxt. Redan mindre K-brist kan leda till en mindre bladyta för växten. En större bladyta genom en tillräcklig försörjning med K innebär en ökad transpiration. Markens vatteninnehåll används då på ett effektivt sätt. Transpirationen per enhet bladyta minskar och förhållandet mellan fotosyntesprodukter och transpiration ökar varvid biomassa-WUE ökar (Thiel & Jakli, 2016).

Den andra fördelen med en större bladyta genom en tillräcklig K försörjning är att beståndet i fältet blir tätare vilket gör att gasutbytet mellan luften i inre delen av beståndet och atmosfären påverkas. Bestånd som är väl utvecklade håller vattenångan från transpirationen bättre än glesare bestånd. Den relativa luftfuktigheten i ett tätt bestånd är högre än luftfuktigheten i ett glest bestånd, vilket leder till en mindre transpiration. Grödor som har fått en bra kaliumgödning förlorar alltså mindre vatten per bladytenhet. Dessutom producerar täta bestånd mer biomassa då mer CO<sub>2</sub> kan tas upp: skörden ökar (Thiel & Jakli, 2016).

Sammanfattningsvis kan det sägas att en bra K-försörjning leder till en högre skörd per enhet transpirerat vatten, det vill säga en högre avkastnings- WUE (Thiel & Jakli, 2016). Avkastning- WUE och K ökar i samma takt dvs ju mer tillgängligt K som finns i marken desto högre blir avkastnings-WUE (Thiel, 2019a). När optimala förhållanden råder under växtsäsongen leder måttlig K-brist inte till någon stor skördeminskning. Däremot kan K-brist under torra förhållanden ge stora konsekvenser, framförallt under tidiga plantstadiet. I figur 2 visas hur en tillräcklig försörjning med K och K-brist i korn påverkar torrsubstansen under torkstress och



Figur 2. Stresstest med korn: Ingen torkstress (översta två bilderna) med och utan en extra kaliumgödsling. Växterna har utsatts för torkstress (nedersta två bilderna) med och utan en extra kaliumgödsling. TM står för ts och anger minskningen av torrsubstansen utan respektive med gödsling. Källa: K+S Kali GmbH

icke-torkstress. Torkstress vid tillräcklig försörjning med K leder till en mindre minskning av torrsubstansen (32%) än torkstress vid K-brist (53%).

Kalium begränsar också produktionen av hormonet abskisinsyra. Detta hormon, också känt som ABA, är signalsubstansen som rötterna signalerar till stomata om det råder vattenbrist. Stomata öppnas inte helt när det råder vattenbrist (Fågelfors, 2016). Dessutom styr ABA växtens mognad (frö och kärnmognad), tillväxt (skott och rottillväxt) och frövila. Eftersom K hämmar produktionen av ABA undviks en för tidigt mognad under stressituationer av den orsaken att grödor mognar snabbare under stressituationer. Resultatet är att växterna med en tillräcklig K-försörjning

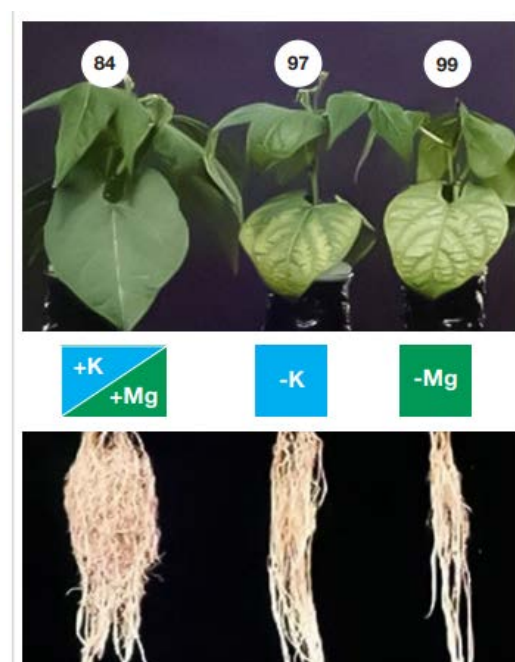
tillväxer under en längre period även under stressituationer såsom vattenbrist (Niederländer, 2019).

### 6.3.2 Kalium och magnesium är delaktiga vid translokationen inuti växten

Under fotosyntesen produceras kolhydrater, framförallt socker och stärkelse, i bladen. Dessa produkter behövs för växtens tillväxt och utveckling. Transporten från bladen till rötter, knölar, kärnor m.m. kallas för translokation eller omfördelning. För att translokationen ska kunna ske är det viktigt att växtens behov av K, men också av Mg, är täckt. Båda näringsämnena spelar en central roll vid lastning till floemet och transporten av kolhydraterna dit de behövs (Båth, 2015). Inte bara kolhydrater transporteras i floemet utan också aminosyror (Niederländer, 2019). Vid kalium-, men också magnesiumbrist, ackumuleras kolhydrater och aminosyror i bladen samtidigt som translokationen av dessa till rötterna hämmas (figur 3).

En av några konsekvenser av detta är att flera skadegörare som bladlöss och olika svampar angriper bladen då socker ger mycket energi till skadegörarna (Niederländer, 2019).

Då transporten av kolhydrater avstannar på grund av K- och Mg-brist bildas också så kallade syreradikaler i cellerna. Syreradikalerna är aggressiva och skadar



Figur 3. Relativa fördelningen av kolhydraterna i % mellan skott och rot. Källa: K+S Kali GmbH



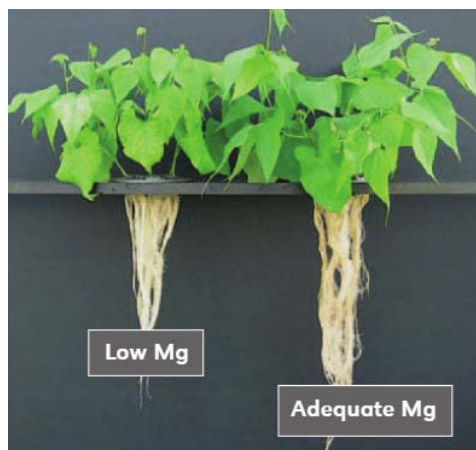
cellerna, bland annat klorofyllet. Om koncentrationen av radikalerna ökar ytterligare dör cellen. Bladen får då nekrotiska fläckar. Friska plantor producerar antioxidanter som neutraliserar syreradikalerna. Kalium och Mg hjälper till vid produktionen av antioxidanter. Vid bra försörjning med näringsämnen bildas mindre radikaler och de som bildas neutraliseras snabbare (K+S KALI GmbH, 2017a).

En annan konsekvens av både K- och Mg-brist är att rötterna och andra delar av växten, så som skott, rötter eller yngre blad, inte får tillräckligt med kolhydrater och tillväxten blir störd (K+S KALI GmbH, 2017a).

Kolhydraterna fungerar som en viktig byggsten för framförallt rötterna (Thiel, 2019a). Sidorötterna blir vid brist mindre i antal och dessutom minskar rötternas torrvtikt. Sidorötterna är essentiella för upptaget av näringsämnen och vatten. Ju mer sidorötter som bildas desto effektivare tas näringsämnen upp, vilket gynnar rotutvecklingen i djupare jordlager och därmed utnyttjandet av de reserver som finns där (Damm *et al.*, 2013b). Detta är speciellt viktigt under torra förhållanden där vatten börjar bli en brist. Vid en bra försörjning med K och Mg ökar torrvtikten av rötterna speciellt i tidiga utvecklingsstadier. För höga halter av K kan däremot påverka utvecklingen av rötterna negativt och leda till en minskad utveckling av rötterna på djupet (Damm *et al.*, 2013b), detta för att K och Mg konkurrerar med varandra vid upptaget.

Både K och Mg behövs för utvecklingen av ett friskt rotsystem men framförallt Mg spelar en central roll. Magnesium är essentiellt för translokationen av kolhydraterna från fotosyntesen till rötterna. Detta för att Mg aktiverar enzymet ATPase vilken är viktig för lastningen av floemet. Vid brist på magnesium påverkas rottillväxten, speciellt i tidiga plantstadier, negativt vilket leder till att vattenupptag från djupare nivåer inte kan ske vilket får konsekvenser främst vid torra förhållanden (Rühlicke, 2018). Som figur 3 visar, leder brist på Mg till en större minskning av rotsystemet vid samtidig brist på K. Brist på Mg leder till att rottillväxten minskar först. Först vid en kraftigare Mg-brist blir de första symptomen på bladen synliga.

Rotutvecklingen påverkas av olika variabler. Magnesiumhalten i marken spelar roll men också markens fukthalt och syrehalt vid såtidpunkten. Om det är för blött vid sådden eller efter sådden bildar växten bara korta rötter då dessa korta rötter räcker för att försörja växten med tillräcklig mängd vatten. Vid för blöta förhållanden lider rötterna också syrebrist vilket hämmar rottillväxten. Om det kommer en torrare period efteråt kan detta påverka växten negativt då vattnet i djupare skikt inte kan nås (Thiel, 2019a). I figurerna 4 och 5 visas hur viktig en adekvat Mg- gödsling är för växten. Sammanfattningsvis illustreras hur Mg styr bland annat tillväxten av blad och rötter, rollen i fotosyntesen och klorofyllet samt transporten inuti växten av fotosyntesprodukter (Cakmak & Yazici, 2010).



Figur 4. Magnesiums funktion i växten och hur brist (low Mg) yttrar sig jämfört med en tillräcklig Mg-försörjning (adequate Mg). Källa: Cakmak and Yazici 2010



Figur 5. Sockerbetor med stor magnesiumbrist (--Mg), magnesiumbrist (-Mg) och en bra Magnesiumförsörjning (+Mg). Källa: K+S Kali GmbH

### 6.3.3 Kalium och magnesium påverkar markstrukturen

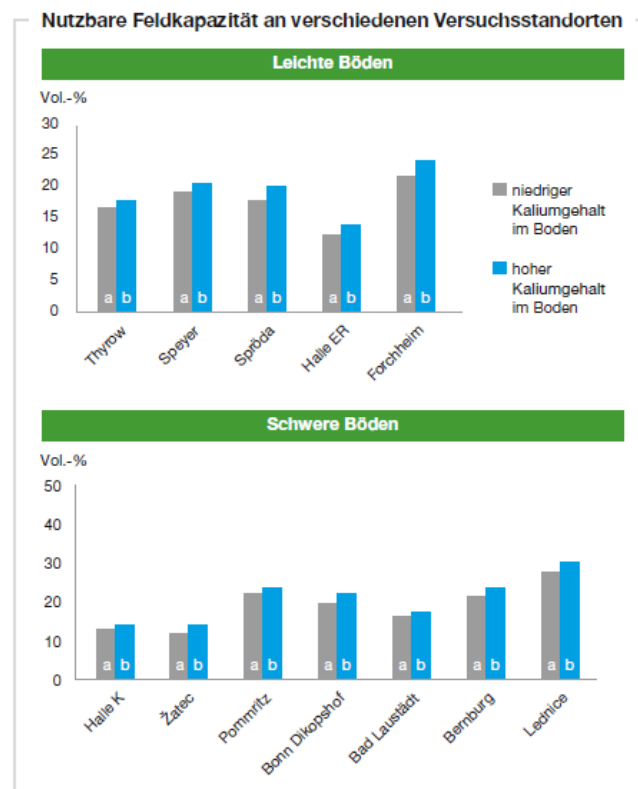
Allmänt eftersträvas en väl utbildad smulig struktur i marken som släpper genom luft och vatten och där fördelningen av fina och stora porer är gynnsam för växtligheten. Fältkapaciteten är ett sätt att indirekt beskriva markstrukturen. Fältkapaciteten beskriver markens vattenhalt efter att det fria vattnet dränerats bort och efter att den nedåtriktade vattenrörelsen har upphört (Eriksson *et al.*, 2017).

Markens struktur och dess stabilitet under bland annat skiftande årstider beror på markens textur, mineralsammansättning, humusinnehåll och den biologiska aktiviteten (Eriksson *et al.*, 2017). Den optimala markstrukturen fås när markens partiklar är tillräckligt förenade med varandra. Även gödslingen påverkar markens struktur. För att markpartiklar ska förenas med varandra krävs det bryggor mellan lerpartiklarna. Dessa bryggor består av flervärda katjoner mellan lerpartiklarna, vilka är negativt laddade. Bryggorna skapar önskvärda aggregatstrukturer. En bra aggregatstruktur motverkar igenslamning och markpackning men också sprickbildning. Magnesium är ett exempel på ett näringsämne som kan bilda tvåvärda katjonbryggor och därmed aggregatbildning. En bra aggregatstruktur är viktigt för att rötterna ska kunna exploatera marken (Elfrich & Dr. Rühlicke, 2018).

Inte bara Mg påverkar markstrukturen utan också K. En högre K-nivå i marken leder till en förbättring av tillväxtrelevanta hydrologiska markegenskaper i matjorden. Områden med högre K-halt har en högre fältkapacitet än områden med mindre K i marken (Damm *et al.*, 2013b). En tillräcklig försörjning med K ökar

alltså markens vattenhållande förmåga på lätta men också leriga jordar (figur 6). Effekten av en ökad kaliumgödsling är dock störst på jordar med mindre andel ler.

Markens stabilitet ändras med hjälp av kaliumsalter i markvattnet. När detta markvatten avdunstar stannar kaliumsalter kvar mellan, framförallt de minsta partiklarna, och hjälper till att hålla ihop dem vilket i sin tur stabiliserar markstrukturen. En mer stabil markstruktur har en positiv inverkan på markens vattenhållande förmåga och mer vatten finns tillgängligt för att tillgodose växter även under torrare förhållanden (Damm *et al.*, 2013a).



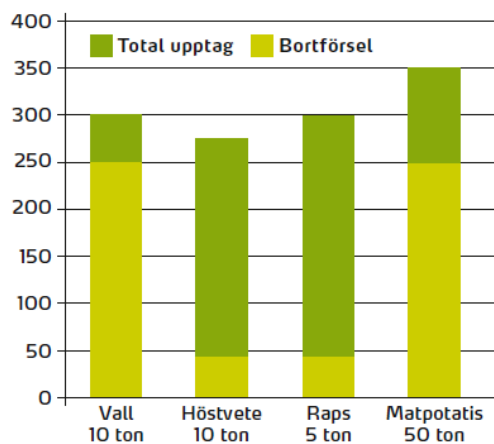
Figur 6. Kalium ökar fältkapaciteten i marken. Fältkapaciteten ökar i lätta jordar (övre del) men också styva jordar (nedre bild). Olika bokstäver står för statistisk signifikanta skillnader mellan kaliumklasserna. Källa: RBZ 2019

## 7 Gödsling

### 7.1 Allmänt om gödsling med kalium och magnesium

Vid gödsling med kväve eller fosfor brukar man räkna med att det ska gödslas med den mängd som kommer tas bort med skörden. Denna grundregel stämmer inte riktigt vid gödslingen med K. Alla grödor är i stort behov av K, men mängden K med bortförd skörd varierar (figur 8). Största mängden av det K som stråsäd eller oljeväxter tagit upp kommer återföras till marken efter skörden (Yara, 2018).

Mängden K som vittrar från grundmaterialet räcker inte alltid för grödans utveckling då behovet ligger mellan 50 och 300 kg /ha. Markens förmåga att bidra



Figur 8. Ungefärligt upptag och bortförsel av K i olika grödor. Källa: Yara 2018

med K, dvs hur mycket som kan vittra från grundmaterialet beror på många olika faktorer (Yara, 2018). Näringsinnehållet och gödslingen varierar beroende på jordart. Lerfria och lerfattiga mineraljordar samt mulljordar har störst kaliumbehov och behöver gödslas oftare och med större mängder. Även risken för magnesiumbrist är större hos lätta jordar (Jordbruksverket, 2019). Trots mobiliseringen av K är förlusterna genom utlakning små på lerjordar eftersom fixeringsmekanismen i marken gör att det oftast inte läcker mer än 1–30 kg/ha (Olsson, 2008).

Det rekommenderas att lantbrukaren regelbundet tar jordprover och analysera dessa för att kunna räkna ut gödselbehovet. Man eftersträvar att få K-AL-värden som ligger i klass III (Jordbruksverket, 2019; K+S KALI GmbH, 2017c). Mg-AL-värdet ska vara mellan 4 och 10 mg /100 g jord (Jordbruksverket, 2019).

AL-värdena av ett näringsämne ger en ungefärlig uppfattning om hur mycket av näringsämnet som finns växttillgängligt i marken. Det samma gäller för markens HCl-värden. Dessa ger en ungefärlig uppfattning om hur stort förråd av ett näringsämne, t.ex. kalium, som finns i marken.

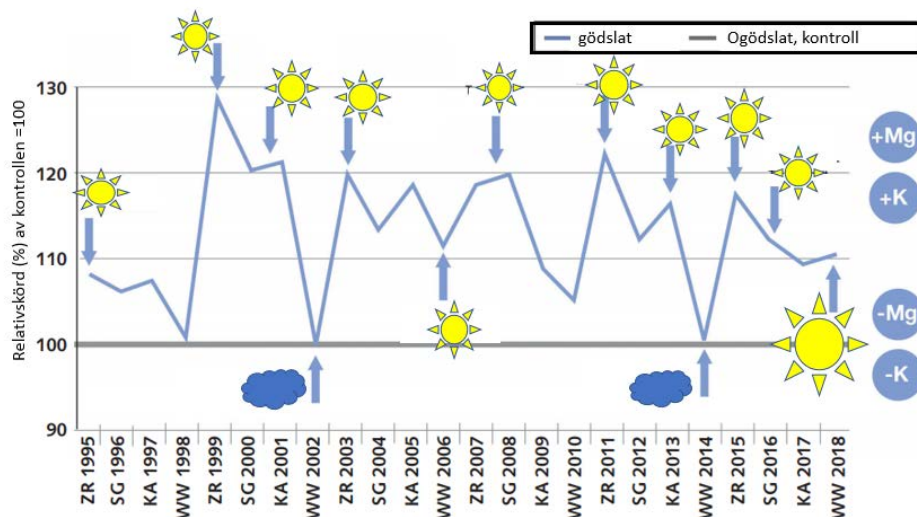
Om K-AL-klasserna I och II fastställs i proverna behöver det gödslas för att komma upp i klass III. Om klassen ligger över III behöver man bara gödsla lite eller inte alls (Eriksson *et al.*, 2017). Dock bör det också tas hänsyn till K-HCl värdet. Ju högre det är, desto mindre är behovet att gödsla (Jordbruksverket, 2019).

Problemet som uppstår under torra perioder är att mobilisering och upptag av olika näringsämnen saktar ner. Detta kan åtgärdas genom att använda bladgödsling. Med denna åtgärd kan man säkerställa växtens försörjning med Mg och till exempel svavel. Även försörjningen av mikronäringsämnen som bor, mangan eller zink kan säkerställas med en bladgödsling. Kalium behövs i större mängder av växten än t.ex. Mg men vid vattenbrist kan även K tillföras växten i form av kompletterande bladgödsling. För att uppnå en bra effekt med denna metod krävs det att man gödslar flera gånger (K+S KALI GmbH, 2017a). Ytterligare en anledning att inte ge för stora engångsgivor av K är att balansen med Mg kan bli störd (Jordbruksverket, 2019).

Då det gäller gödsling med K och Mg måste man ta hänsyn till kvoten mellan dessa två näringsämnen för att undvika att brist uppstår. Man strävar efter en K/Mg-AL kvot mellan 1,5 och 2,5 beroende på jordart. Om kvoten överstiger detta värde försvaras upptaget av Mg och växter lider brist då kalium konkurrerar med magnesium om upptaget. Ett intervall anges eftersom kaliumtillståndet i marken påverkar den kritiska kvoten. Ju högre K-AL tal desto lägre kritisk K/Mg-kvot (Eriksson *et al.*, 2017).

## 7.2 Gödslingsförsök med kalium och magnesium

Båda näringsämnena, K och Mg, anses vara viktiga för växtens förmåga att klara torkstress på grund av deras uppgifter i grödan. Ett pågående långtidsförsök genomförs av företaget K+S Kali där skördemängden mellan de gödslade fälten med tillräcklig K och Mg jämförs med de icke gödslade fälten. Försöket startades 1995 i Cunnersdorf, Tyskland. Jordarten är en sandig lättlera (saLL). AL-värdet för både K och Mg i den ogödslade delen är II och i den gödslade delen försökte forskarna få värdet III genom tillsatt gödsling. Den relativa skördeökningen i de gödslade fälten visas i figur 7. Framförallt då odlingsperioden var torr syns en stark avkastningsökning i de gödslade fälten jämfört med de ogödslade. Då nederbörden under odlingssäsongen var tillräcklig fick man ingen skördeökning i den gödslade delen av försöket. Framförallt under torra år märks alltså hur K och Mg påverkar avkastningen.



Figur 7. Hur gödslingen med adekvata mängder K och Mg påverkar avkastningen. Växtföljden syns på X-axeln där ZR står för sockerbetor, SG för höstkorn, KA för potatis och WW för höstvetete. Skördenivån av kontrollen sattes lika med 100%. Kontrollen (grå linje) och gödslat fält (blå linje). En sol står för en varm sommar med mindre nederbörd än vad som skulle behövas för tillväxten och moln står för en normal sommar med tillräckliga mängder vatten under växtsäsongen. Källa: K+S Kali GmbH

### 7.3 Gödslingseffekter i potatis

Potatis är en gröda som spelar en stor roll i det svenska samhället och har blivit en avgörande näringskälla. I snitt ligger potatiskonsumtionen under ett år på 56 kg per person. Då potatis har ett svagt rotsystem och med fördel odlas på lättare jordar spelar dess förmåga att ta upp vatten och använda det på ett effektivt sätt en stor roll för grödans tillväxt och slutliga avkastning. Framförallt K behövs i stora mängder och är viktigt för potatisens tillväxt och utveckling men också för att uppfylla olika kvalitetskrav.

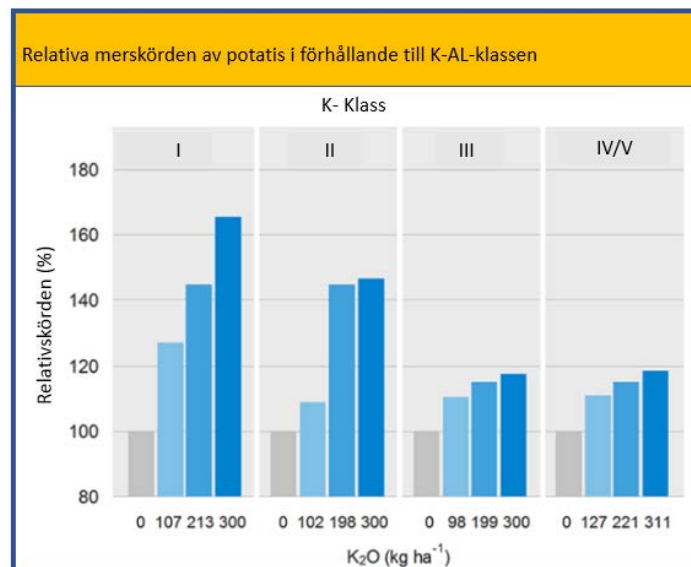
Kvalitetskraven i potatisodlingen varierar beroende på syftet med potatisen. Användningsområdena för potatisen är många, de kan användas till exempel som matpotatis, industripotatis, stärkelsepotatis eller utsädespotatis. Den optimala stärkelsehalten beror på användningsområde. I stärkelsepotatis ska stärkelsehalten vara så hög som möjligt. I industripotatis ska den vara mellanhög. För matpotatis spelar istället kokegenskaperna en stor roll. Potatisen ska inte sönderfalla och inte ändra färg. (K+S KALI GmbH, 2017d). För att uppfylla de olika kvalitetskraven behöver man framförallt välja rätt sort, men även gödslingen påverkar potatisens egenskaper. Kalium är det näringsämne som påverkar potatisens kvalitet mest. En stor tillgång på K sänker torrsubstanshalten i knölarna. Dessutom är en tillräcklig kaliumtillförsel nödvändig för att knölarna inte ska mogna för tidigt. Knölar med låg K-nivå eller hög torrsubstanshalt får lätt stötskador vid hantering (Fågelfors, 2016). Skadorna som uppstår i vävnaden orsakar mörkfärgning i knölarna då enzymatiska processer startas. Detta kallas stötblått. Det kan undvikas med K-gödsling då knölarna hinner mogna. Att knölarna mörkfärgas efter kokningen beror också på en låg kaliumnivå i knölarna (Fågelfors, 2016). Kalium höjer stärkelsehalten men också citronsyrhalten och vitamin C-halten (K+S KALI GmbH, 2017d).

Kalium är det ämnet som tas upp av potatisen i störst mängd. I snitt tar potatisplantorna upp 50 kg K per 10 ton skörd (Jordbruksverket, 2019). Förutom att K påverkar potatisens kvalitet har näringsämnet också en positiv inverkan på bladhälsa, kväveeffektivitet, växtens vattenhushållning, skördemängd och skördesäkerhet.

I vilken omfattning K-gödsling påverkar potatisens knöltillväxt och därmed skördemängden beror på hur mycket K i marken som är växttillgängligt innan gödslingen, dvs vilken K-AL-klass marken har (figur 9).

Kaliumbehovet för potatisar är generellt störst i början av tillväxten. Behovet och också upptaget minskar efter DC 75, utvecklingsstadiet där 50% av frukterna har nått full storlek (Jordbruksverket, 2017), dvs mest K tas upp från uppkomsten till maximal utveckling av blasten (Fågelfors, 2016). Inte bara K är viktigt för

potatisen, utan också Mg, bor och mangan. Potatisen odlas med fördel på lätta magnesiumfattiga jordar och magnesium behöver ofta tillföras med en extra bladgödsling (K+S KALI GmbH, 2017d).



Figur 9. Relativ skördeökning av potatis beroende på K-AL-klassen. Från vänster till höger: låg, mellan, optimal, hög. Skördeökningen är störst på jordar där växttillgängligt K är som lägst. Källa: K+S Kali GmbH



## 8 Diskussion

Diskussionen kring torkstress är stor bland lantbrukare men också bland rådgivare och i forskningen. Framförallt sommaren 2018 har ställt temat torkstress och skördeminskning på grund av torka i fokus. Vädret är den faktor som kan påverkas minst men som påverkar odlingen mest.

### *Övriga näringsämnen*

Kalium och magnesium är inte de enda näringsämnena som behövs för en gröda. En grödas förmåga att klara stressituationer i allmänhet beror mycket på dess näringsstatus. Här är både essentiella och icke-essentiella näringsämnen viktiga och de måste finnas i en växt för att den ska kunna växa optimalt och ha en hög stresstolerans. En gröda som har tillgång till alla näringsämnena är optimalt utvecklad och har reserver för att försvara sig själv. Därmed klarar den stressituationer bättre än en gröda som har brist på något näringsämne. Insektsangrepp, vind, svampangrepp är exempel på stress för en växt. Växten klarar ett sådant angrepp mycket bättre om den är fullt utvecklad och i full funktion. När en växt utsätts för torkstress är det framförallt kalium och magnesium som är viktiga då det är dessa näringsämnena som påverkar växtens vattenhushållning mest. Det ska sägas att inte bara kalium och magnesium anses ha positiv inverkan på växtens torktålighet utan också svavel.

En gröda växer fortfarande under måttligt torra förhållanden även om behovet av kalium och magnesium inte är helt täckt. Jag tror att man kan se gödslingen med dessa två näringsämnena som en försiktighetsåtgärd. Deras möjliga potential att öka och säkerställa skörden observeras främst under torra förhållanden. Vid tillräckliga mängder nederbörd märks däremot inte mycket av deras skördehöjande potential.

Liebigs minimilag, lagen om att det växtnäringsämne som förekommer längst ifrån den optimala halten är det som begränsar skörden. Det behöver alltså gödslas med alla essentiella näringsämnena. Liebigs lag säger också att underskott av ett näringsämne ej kan kompenseras med överskott av ett annat ämne. Konsekvensen

av denna lag är att man måste ta hänsyn till alla näringsämnen då en gröda gödslas. Extra hänsyn till K eller Mg leder inte till någon skördeökning under torra förhållanden om det råder brist på ett annat näringsämne som kväve eller fosfor. En lantbrukare bör ta hänsyn till alla näringsämnen i rätt mängd och inget för glömmas eller beaktas mindre.

Thiel<sup>1</sup> säger att när det gödslas med extra hänsyn till K och Mg finns det teoretiskt en chans att dessa två näringsämnen i rätt mängd konkurrerar ut andra näringsämnen som kalcium eller ammonium (NH<sub>4</sub>.) Detta på grund av antagonism mellan till exempel Mg och kalcium eller K med NH<sub>4</sub>. Dock har det inte kunnat visas i praktiken att för mycket K och Mg påverkar grödan på ett negativt sätt.

### *Kombinera åtgärder!*

Som nämnts tidigare finns det några odlingsåtgärder som skyddar grödorna mot torkstress eller åtgärdar dessa. Åtgärder som bevattning, sortval, markbearbetning- och täckning men också planttäthet ger bra möjligheter, men enligt mig är inte dessa tillräckliga. Om man vill skydda sina grödor och säkerställa en hög skörd trots icke optimala odlingsförutsättningar gäller det att förebygga torkstress och kombinera åtgärderna. Den bästa och enklaste förebyggande åtgärden för att öka torktåligheten hos sina grödor är att säkerställa att de viktigaste näringsämnena finns tillgängliga. Kalium och Mg spelar centrala roller i växtens utveckling och i tålighet mot torka på flera nivåer.

Kombinationen av så många åtgärder som möjligt för att minska skördeminskingen på grund av vattenbrist kommer bli viktigare i framtiden. Jag anser att man kan se gödslingen med extra hänsyn till K och Mg som en bas till de andra åtgärderna som man kan använda sig av vid vattenbrist. Kalium och Mg är grunden till en stabil skörd trots icke-optimala odlingsförutsättningar, där andra åtgärder bygger på och blir effektiviserade. Övriga näringsämnen får likväl inte glömmas bort.

Om en lantbrukare till exempel har tillgång till bevattning är det viktigt att så effektivt som möjligt använda det vatten som finns. Med K- och Mg- gödslingen tror jag att man har en stor möjlighet att effektivisera grödornas vattenupptag ytterligare och därmed spara in på vattenanvändningen. Vatten kommer i framtiden bli en värdefull resurs som det gäller att ta till vara.

För att kunna gödsla effektivt efter växtens behov måste man veta i vilken omfattning näringsämnena finns tillgängliga i marken. En markkarteringskarta över gårdens areal är grunden för skyddet av grödorna mot olika stressituationer. Med hjälp av data från markkarteringen kan en effektiv gödslingsplan göras.

---

<sup>1</sup> Dr. Heike Thiel, forskare, K+S Kali GmbH, personlig kommunikation juni 2019

### *Hade man kunnat minska de skördeförlusterna från 2018?*

En fråga som hela tiden dök upp under arbetets gång var om man hade kunnat minska skördebortfallet 2018 om rätt mängd av kalium och magnesium hade funnits tillgängligt i marken. 2018 var otroligt torrt och varmt. Jag tror att man hade kunnat minska de skördeförluster som många lantbrukare drabbades av.

Det finns en stor potential i både K- och Mg- gödslingen, men att endast satsa på gödsling är inte hela lösningen på problemet.

I perioder där vatten är en bristvara är det ännu viktigare att växterna kan använda det vatten som finns på ett effektivt sätt. Tillräcklig mängd av växttillgängligt kalium och magnesium gör lantbruksgrödorna mer torktåliga genom att man ger växten bästa möjliga skydd mot torkstress. De två näringsämnena hjälper plantan genom att förbättra dess förmåga att anpassa sig till torkstress, men de hjälper också växten att utveckla resistensmekanismer speciellt mot torkstress. WUE hos grödorna ökar, djupare rötter kan bildas, vattenupptaget säkerställs och omfördelningen av kolhydrater underlättas. Dessutom kan både K och Mg påverka markstrukturen vilket gör att mer vatten i marken blir växttillgängligt. Alla dessa funktioner hos K och Mg i växten och i marken är centrala för att växten ska kunna klara perioder där mindre vatten är tillgängligt. I jordar som lätta jordar och mulljordar med låg vittringsförmåga samt i lerjordar anser jag att en extra hänsyn till gödslingen med just dessa näringsämnen hade gjort skillnad och avkastningen kunde ha höjts.

Men K och Mg kan inte fungera som en ersättning för vatten! Vatten behövs under alla omständigheter för växtens utveckling och tillväxt. Kalium och Mg hjälper till att öka torktåligheten, men om det inte finns något vatten alls tillgängligt för grödorna kan inte heller K och Mg höja skördenivån.

I jordar som redan hade tillräckliga mängder K, Mg samt alla andra näringsämnen innan torkan började hade en extra gödsling med just K och Mg inte lett till någon avkastningsändring. På dessa jordar har man redan nått den maximala avkastningen trots torka.

Förutom jordart spelar så klart också val av gröda en stor roll där olika grödor har olika stora behov av näringsämnen. Inom olika grödor finns också stora skillnader mellan olika sorter och hur deras tolerans mot torkstress är.

### *Gödsling*

Om man vill förebygga torkstress hos sina grödor genom att tillföra K och Mg i rätt mängd under tillväxten tror jag att man förbereder grödorna på en eventuell torkperiod förutsatt att man också har tagit hänsyn till alla andra näringsämnen. En extra kalium- och magnesiumgödsling har dock ingen eller nästan ingen skördeökande effekt om vatten finns i tillräcklig mängd under tillväxtsäsongen.

Effekten av K och Mg märks främst under torra år vilket också gör att man behöver avväga som lantbrukare om det är värt att investera i en extra gödsling som skyddar grödorna mot eventuellt torkstress eller om man chansar på att det blir tillräcklig nederbörd. Det finns möjlighet att bladgödsla vid akut behov, dock tror inte jag att det hjälper så mycket. Bästa effekten av K- och Mg-gödslingen får man om man arbetar förebyggande och säkerställer att jorden innehåller alla näringsämnen när säsongen börjar.

Gödslingen av marken bestämmer indirekt halten av ämnet i växten. Information om exakt vilka halter som krävs i växten för att få en torktålig gröda saknas. Gödslingsföretag hänvisar till halterna i marken och att det är AL-värdena som bestämmer hur mycket K eller Mg man ska tillföra. Det säger dock ingenting om halterna i växten. Halterna i växten påverkas så klart av halterna i marken men det hade varit intressant att veta hur höga koncentrationer av ett näringsämne i en växt som anses vara tillräckliga för en optimal tålighet mot torkstress.

Det får inte glömmas att jordart, vittringshastighet och markens näringsstatus avgör gödslingsbehovet mest. Brist på näringsämnet kalium kan förekomma på lätta jordar och muljordar samt på äldre jordar där redan en stor del av kaliumet har vittrats bort. På yngre lerjordar är kaliumbrist sällsynt och mycket av det kalium som finns i marken kan vittras. Vittringshastigheten beror dock mycket på temperatur och nederbörd och skiljer sig från år till år. Markens K-HCl- och K-AL-värden ska regelbundet kontrolleras. Men detta inte bara för att säkerställa K och Mg utan alla essentiella näringsämnen. I Sverige är det främst de äldre lerjordarna t.ex. i Skåne som har lägre halter av just kalium. I Mälardalen är brist på kalium men också magnesium sällsynt. I dessa områden behöver man inte ta stor hänsyn till gödslingen med kalium och magnesium.

### *Marken*

Marken inom växtodlingen har en central roll. Eva Salomon från RISE beskriver marken som ett skelett, en bas för rötterna där de ska kunna utvecklas på ett optimalt sätt. För att detta ska kunna fungera är det viktigt med en bra markstruktur. Både K och Mg har en positiv inverkan på markstrukturen och förbättrar dess aggregatbildning vilket gör att fältkapaciteten ökar och mer vatten i marken förblir växttillgängligt. Jag anser att åtgärder behöver kombineras för att få en bra markstruktur. Kalkningen av marken har stor potential i detta, framförallt genom dess pH-höjande effekt. Men kalkningen är inte det enda som kan göras för att förbättra markstrukturen. Med kalium- och magnesiums positiva inverkan på markstrukturen tycker jag att en kombination av kalkning och K- och Mg- gödsling skulle förbättra markegenskaperna så att växten får bättre förutsättningar för tillväxt.

### *Kunskapen måste öka*

Jag anser att det behövs mer kunskap om K- och Mg-gödslingen bland lantbrukarna, bland rådgivarna som jobbar inom lantbruket men också inom forskningen. Jag anser att det finns en stor potential med dessa två näringsämnen. Dock är att endast ta hänsyn till K- och Mg- gödsling inte lösningen för att undvika skördeförluster på grund av torka, men de två näringsämnena kan ge grödorna en bra förutsättning för att klara torkstress med hänsynstagande till växtens försörjning med alla andra näringsämnen.

Den 7- maj hade ÄT UPPsala län tillsammans med LRF och SLU Future Food ett seminarium med tema vatten, extremväder och klimatanpassning. Ett tiotal rådgivare och forskare höll korta presentationer men ingen talade om gödsling. Man pratade mycket om bevattning, sortval och jordbearbetning samtidigt som de påpekade att nya strategier inom växtodlingen behövs. Är kanske möjligheterna med K och Mg en av dessa nya strategier?

### *Global påverkan av kalium och magnesium*

Inte bara Sverige och Europa har ett problem med varma somrar och lite nederbörd under växtsäsongen utan också många utvecklingsländer. Jag tror att med en större hänsyn till K- och Mg-gödslingen skulle man kunna få stabilare men också högre skördar i utvecklingsländer trots eventuella torkperioder. En ökad och stabilare skörd gynnar lantbrukaren då den kan försörja sin familj lättare då större delar av skörden kan säljas men att han också har råd att anställa extra hjälp. Mer inkomst för lantbrukarna leder till att deras barn kan gå i skolan under en längre tid. Levnadsstandarden ökar för hela familjen. Det kanske är en av många möjligheter att hjälpa människorna i utvecklingsländer att bli mer självförsörjande genom att hjälpa det lokala lantbruket.

Dessutom skulle markanvändningen kunna öka då skörden per areal ökar. I jordar som är kalium- och magnesiumfattiga från början skulle gödslingen med K och Mg leda till stora skördeökningar. Kanske skulle palmoljeodlingen kunna bli mer effektiv och mindre regnskog skulle behöva avverkas om man hade kunnat utnyttja de arealer man redan har på ett effektivare sätt genom att gödsla med alla näringsämnen, framförallt då K och Mg.

### *Oberoende forskning behövs*

Försöksresultaten från företaget K+S Kali:s forskningsinstitut IAPN ska granskas kritisk. Nästan all information om gödsling och torkstress hade direkt eller indirekt en koppling till företaget K+S Kali och ”oberoende” resultat var svåra att hitta. Informationen om vilka funktioner kalium och magnesium i växten har hittades i flera olika artiklar men just forskningsresultaten där man undersökte hur växter reagerar på kalium- eller magnesiumbrist under torkstress kom främst från

ett och samma företag. Dessa resultat visar inte hur stor bristen på ett näringsämne är och vilka andra faktorer som spelar in som inte nämns. Dessutom vet man inte om andra näringsämnen i försöket också saknades vilket såklart skulle påverka resultaten. Det finns en del möjliga felkällor i försöken och resultaten av de olika försöken ska granskas. Källmaterialet och informationen till uppsatsen är därmed begränsade och källmaterialets äkthet kan inte garanteras till 100%.

De möjliga fördelarna med kalium och magnesium för grödor under framförallt torkstress bör undersökas av flera olika universitet, företag och oberoende forskningsanstalter. Forskningen måste bli mer neutral för att undvika resultat som eventuellt är riktade för mycket.

I framtiden behöver man forska mer på exakt hur och i vilken omfattning olika lantbruksgrödor svarar på gödslingen med K och Mg. Detta för att kunna optimera gödslingen så att det nås en maximal skörd med minimala ekonomiska insatser. Forskningen behöver i första hand satsa på de globalt viktigaste grödorna för att kunna säkerställa att de grundläggande livsmedlen finns tillgängliga. Den framtida forskningen måste fokusera på hur avkastningen kan ökas, hur marken kan bli mer bördig och hur vi kan använda resurserna på ett effektivt och hållbart sätt.

Det kanske med hjälp av forskningen hittas flera fördelar med K och Mg men också andra näringsämnen.

## 9 Slutsatser

- Kalium är framförallt viktigt för växtens vattenhushållning och styrning av WUE. Under torra förhållanden är det viktigt att grödan använder det vatten som finns på ett effektivt sätt.
- Kalium och magnesium är viktiga för den translokation inuti växten som behövs för att bland annat få ett välutvecklat rotsystem.
- Både kalium och magnesium har positiv inverkan på markstrukturen och gör att mer vatten blir växttillgängligt.
- Större fokus bör ligga på gödslingen med K och Mg. Båda har viktiga egenskaper som gör att skördenivån kan hållas mer stabilt trots vattenbrist. Dock behöver alla andra näringsämnen också vara tillgängliga för växten.
- Det behövs mer kunskap om K och Mg och forskningen måste bli mer oberoende.
- Extra hänsyn till kalium och magnesium skulle kunna säkerställa högre skördar och en effektivare markanvändning.
- Enbart hänsyn till gödslingen med K och Mg är inte lösningen för att säkerställa en stabil skörd i ett torrare klimat. Dessa näringsämnen ska mer ses som en bas i skyddet mot torkstress där andra åtgärder kompletterar.

Sammanfattningsvis ska det sägas att med tanke på klimatförändringar, extrem väderlek samt en globalt ökande befolkning, som måste kunna försörjas, är det viktigt att ta vara på alla eventuella möjligheter som finns för att säkerställa en stabil avkastning av våra lantbruksgrödor. Vi har inte råd att bortse från grundläggande enkla åtgärder, såsom gödsling, som en viktig aspekt för att klara dessa utmaningar.

## Referenslista

- Baab, G. (2014). Das Nährelement Kalium. *Öko-Obstbau*, 3, s. 6.
- Båth, B. (2015). Makronäringsämnen. *Ekologisk grönsaksodling på friland*.
- Broadley, M.R. & White, P.J. (2005). *Plant Nutritional Genomics*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Cakmak, I. & Yazici, A.M. (2010). Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops*, 94, ss. 23-25.
- Damm, S., Hofmann, B., Gransee, A. & Christen, O. (2013a). Zum Einfluss langjährig differenzierter Kaliumdüngung auf Parameter des Bodenwasserhaushaltes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(1), ss. 21-40.
- Damm, S., Hofmann, B., Gransee, A. & Christen, O. (2013b). Zur Wirkung von Kalium auf ausgewählte bodenphysikalische Eigenschaften und den Wurzeltiefgang landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(1), ss. 1-19.
- Elfrich, R. & Dr. Rühlicke, G. (2018). Wie Magnesium bodenbedingten Trockenstress reduziert. *Kartoffelbau*, 11, ss. 20-23.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2017). *Märklära*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Fågelfors, H. (2016). *Vår mat*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Gruvaeus, I. (1994). Magnesium, behövs det? *Växtpressen*, 1.
- Jákli, B., Tavakol, E., Tränkner, M., Senbayram, M. & Dittert, K. (2017). Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. *Journal of Plant Physiology*, 209, ss. 20-30.
- Jordbruksverket (2018-07-12). *Den globala matproduktionen behöver öka*. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/handelmarknad/allmantomhandels ochjordbrukspolitik/ulandsfragor/globalamatproduktionenbehoveroka.4.5da42c07159ce43e6207796d.html> [2019-03-26].
- Jordbruksverket (2017-10-27). *Utvecklingsstadier - potatis*. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/jordbruksgrador/potatis/utvecklingsstadier.4.32b12c7f12940112a7c800023869.html> [2019-05-05].
- Jordbruksverket (2019). Rekommendationer för gödsling och kalkning. *Jordbruksinformation*, 18, s. 108.
- K+S KALI GmbH *Trockenstress*. Tillgänglig: <http://www.kali-gmbh.com/shared/data/kali-fertiliser-broschures-pdf/broschures-de/de-wissensspeicher-trockenstress.pdf> [2019-09-01].



- K+S KALI GmbH *Magnesium*. Tillgänglig: [https://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/magnesium.html](https://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/magnesium.html) [2019-04-12].
- K+S KALI GmbH *Kalium*. Tillgänglig: [https://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/potassium.html](https://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/potassium.html) [2019-03-27].
- K+S KALI GmbH *Kartoffel*. Tillgänglig: [http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory\\_service/crops/potato.html#](http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/crops/potato.html#) [19-04-27].
- Mohd Zain, N.A. & Ismail, M.R. (2016). Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. *Agricultural Water Management*, 164, ss. 83-90.
- Niederländer, E. (2019). Kalium gegen Trockenstress. *RBZ*, 7, s. 2.
- Olsson, C.M. (2008). Kalium - ett viktigt makronäringsämne. *Växtpressen*, 2, ss. 14-15.
- Rühlicke, D.G. (2018). Mit Kalium und Magnesium den Wasserhaushalt optimieren. *Bayrischen Landwirtschaftliche Wochenblatt*.
- Thiel, H. (2019a). Kalium und Magnesium helfen Wasser bei Trockenheit effektiv zu nutzen. *Kartoffelbau*, 1&2, ss. 33-36.
- Thiel, H. & Jakli, B. (2016). Kalium erhöht die Wassernutzungseffizienz pflanzlicher Systeme. *Kali & Steinsalz*, ss. 39-47.
- Yara (2018-06-08). *Kalium och kaliumgödsling*. Tillgänglig: <https://www.yara.se/vaxtnaring/kalium-och-kaliumgodsling/> [2019-04-19].
- Zörb, C., Senbayram, M. & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), ss. 656-669.